

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
5 février 2004 (05.02.2004)

PCT

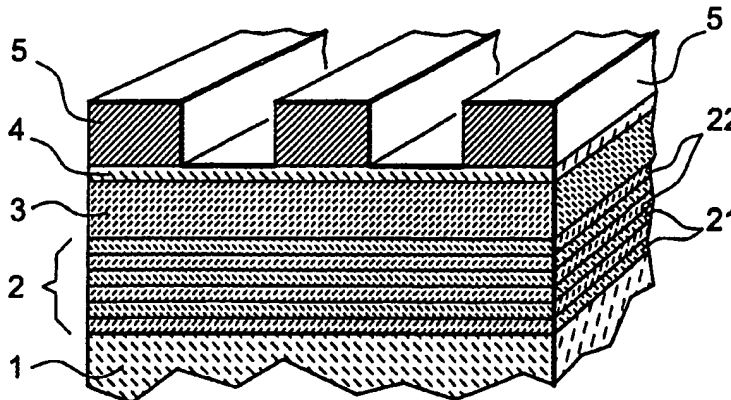
(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/012275 A2

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H01L 31/108
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2003/002343
- (22) Date de dépôt international : 24 juillet 2003 (24.07.2003)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 02/09430 25 juillet 2002 (25.07.2002) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : PARDO, Fabrice [FR/FR]; 13, voie Charcot, F-94400 Vitry sur Seine (FR). COLLIN, Stéphane [FR/FR]; 51, boulevard Lefebvre, F-75015 Paris (FR). PELOUARD, Jean-Luc [FR/FR]; 17, rue Planchat, F-75020 Paris (FR).
- (74) Mandataire : LEHU, Jean; c/o Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MSM-TYPE PHOTODETECTOR DEVICE WITH RESONANT CAVITY COMPRISING A MIRROR WITH METAL ELECTRODE GRATING

(54) Titre : DISPOSITIF DE PHOTODETECTION DE TYPE MSM ET A CAVITE RESONNANTE COMPRENANT UN MIROIR A RESEAU D'ELECTRODES METALLIQUES



(57) Abstract: The invention concerns an MSM-type photodetector device for detecting an incident light and comprising, superimposed on a support (1), reflecting means (2) forming a first mirror for a Fabry-Perot resonant cavity, a non light-absorbing intermediate layer (3), an active layer (4) made of semiconductor material absorbing incident light and an electrode grating (5) for polarizing and collecting the detected signal. The electrode grating is arranged on the active layer and consists of parallel strips uniformly spaced

by a period less than the wavelength of the incident light, the electrode grating constituting a second mirror for the resonant cavity, the optical properties of said second mirror being determined by the geometrical dimensions of said conductive strips. The distance separating the first mirror from the second mirror is determined to obtain between said two mirrors a Fabry-Perot type resonance for the incident light.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif de photodétection de type MSM destiné à détecter une lumière incidente et comprenant, en superposition sur un support (1), des moyens réfléchissants (2) formant un premier miroir pour une cavité résonnante de type Fabry-Pérot, une couche d'un matériau n'absorbant pas la lumière (3), une couche active (4) en matériau semiconducteur absorbant la lumière incidente et un réseau d'électrodes (5) de polarisation et de collecte du signal détecté. Le réseau d'électrodes est disposé sur la couche active et est constitué de bandes parallèles régulièrement espacées selon une période inférieure à la longueur d'onde de la lumière incidente, le réseau d'électrodes constituant un deuxième miroir pour la cavité résonnante, les caractéristiques optiques de ce deuxième miroir étant déterminées par les dimensions géométriques desdites bandes conductrices. La distance séparant le premier miroir du deuxième miroir est déterminée pour obtenir entre ces deux miroirs une résonance de type Fabry-Pérot pour la lumière incidente.



DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SI, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

DISPOSITIF DE PHOTODETECTION DE TYPE MSM ET A CAVITE  
RESONNANTE COMPRENANT UN MIROIR A RESEAU D'ELECTRODES  
METALLIQUES

5

## DESCRIPTION

## DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention se rapporte à un dispositif de photodétection de type MSM et à cavité résonnante comprenant un miroir à réseau d'électrodes.

10

## ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Un photodétecteur ultra-rapide (temps de réponse inférieur à 1ps) est aujourd'hui un élément crucial pour les télécommunications à très haut débit par fibre optique (100 Gbits/s et au delà). Les performances recherchées sont une grande sensibilité et une large bande passante dans les longueurs d'onde de 1,3 et 1,55  $\mu\text{m}$ . Quel que soit le type de photodétecteur (diode PN, diode PIN, structure Métal-Semiconducteur-Métal ou MSM), l'objectif de rapidité impose que la distance inter-électrodes soit courte (inférieure à 100 nm) et que la lumière soit absorbée dans un volume minimal.

Les photodétecteurs existant actuellement font donc nécessairement l'objet d'un compromis entre rendement et vitesse. Ainsi, le semiconducteur InGaAs massif ayant une longueur caractéristique d'absorption d'environ 3  $\mu\text{m}$ , à la longueur d'onde de 1,55  $\mu\text{m}$ , la diminution du temps de transit des porteurs de charge

est directement liée à une diminution du rendement quantique externe dans les diodes PIN et dans les structures MSM.

En utilisant les photorépéteurs actuels, la  
5 montée en débit des télécommunications optiques imposerait donc une augmentation importante du nombre de répéteurs sur la ligne de transmission et donc son coût.

Les photodétecteurs MSM ultrarapides  
10 (plusieurs centaines de GHz) doivent avoir une couche absorbante de faible épaisseur et un espace inter-électrodes inférieur à la longueur d'onde.

La première contrainte limite fortement la sensibilité comme il ressort de l'article "High-Speed  
15 InGaAs Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors with Thin Absorption Layers" de W.A. Wohlmuth et al., IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.9, N°5, 1997, pages 654 à 656.

La deuxième contrainte limite également fortement la sensibilité. Elle est référencée dans la  
20 littérature sous deux aspects : d'une part, un effet d'ombrage des électrodes et d'autre part, un effet de diffraction conduisant à une faible pénétration de la lumière dans le dispositif. On peut se reporter à ce sujet à l'article "High-Responsivity InGaAs MSM  
25 Photodetectors with Semi-Transparent Schottky Contacts" de R.H. Yuang et al., IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.7, N°11, 1995, pages 1333 à 1335.

Pour contourner cette difficulté, les recherches s'orientent dans deux directions  
30 différentes. Les photodiodes PIN ou Schottky associées à une cavité résonante permettent de conserver un

rendement quantique élevé, mais leur fréquence de coupure est limitée à environ 100 GHz pour des dispositifs de 100  $\mu\text{m}^2$  de surface. On peut se reporter à ce sujet à l'article "Resonant Cavity-Enhanced (RCE) Photodetectors" de K. Kishino et al., IEEE J. Quantum Electron., Vol.78, N°2, 1995, pages 607 à 639.

Plus récemment, des photodétecteurs à ondes propagatives ont été étudiés. Contrairement aux structures précédentes, l'éclairage est latéral, c'est-à-dire perpendiculaire au déplacement des porteurs de charge. Ces structures sont conçues pour être à la fois un guide d'onde optique et un guide d'onde électrique TEM. La limitation due à la capacité (constante de charge RC) est alors remplacée par une limitation due au désaccord entre les vitesses de groupe optique et électrique. On peut se reporter à ce sujet à l'article "Traveling-Wave Photodetectors" de K.S. Giboney et al., IEEE Photon. Techn. Lett., Vol.4, N°12, 1992, pages 1363 à 1365.

20

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour remédier aux inconvénients des dispositifs de l'art antérieur, il est proposé selon la présente invention de concentrer de façon résonnante la lumière dans une structure MSM de faible volume actif. La résonance est de type Fabry-Pérot entre un miroir de haute réflectivité (par exemple un miroir de Bragg) à la base du dispositif et un réseau d'électrodes métalliques en surface. La période du réseau d'électrodes est inférieure à la longueur d'onde de la

30

lumière incidence. La réflectivité de ce réseau d'électrodes (deuxième miroir de la cavité Fabry-Pérot) est contrôlée par les paramètres géométriques du réseau. La cavité ainsi réalisée comporte deux  
5 parties : une couche absorbante d'épaisseur réduite où sont générés les photo-porteurs et une couche non absorbante. La faible longueur des trajets que doivent parcourir les photo-porteurs pour être collectés par les électrodes assure à ce dispositif un comportement  
10 intrinsèque extrêmement rapide (temps de réponse inférieur à la picoseconde) alors que le couplage résonant avec la lumière incidente lui assure un rendement quantique externe élevé (typiquement 10 fois supérieur aux meilleures performances actuelles).

15 L'invention a donc pour objet un dispositif de photodétection de type MSM destiné à détecter une lumière incidente et comprenant, en superposition sur une première face d'un support, des moyens réfléchissants formant un premier miroir pour une  
20 cavité résonnante de type Fabry-Pérot, une couche d'un matériau n'absorbant pas ladite lumière, une couche active en matériau semiconducteur absorbant la lumière incidente et un réseau d'électrodes de polarisation et de collecte du signal détecté, le réseau d'électrodes  
25 étant disposé sur la couche active, le réseau d'électrodes étant constitué de bandes conductrices parallèles régulièrement espacées selon une période inférieure à la longueur d'onde de la lumière incidente, le réseau d'électrodes constituant un  
30 deuxième miroir pour la cavité résonnante, les caractéristiques optiques de ce deuxième miroir étant

déterminées par les dimensions géométriques desdites bandes conductrices, la distance séparant le premier miroir du deuxième miroir étant déterminée pour obtenir entre ces deux miroirs une résonance de type Fabry-  
5 Pérot pour la lumière incidente.

Les moyens réfléchissants formant un premier miroir peuvent être constitués par un miroir de Bragg, par exemple constitué de couches alternées d'AlAs et d'AlGaAs ou de couches alternées de GaInAsP  
10 et d'InP ou de couches alternées d'AlGaInAs et d'AlInAs ou de couches alternées d'AlGaAsSb et d'AlAsSb.

Ils peuvent aussi être constitués par une couche métallique. De préférence, la couche métallique constituant le premier miroir offre une surface en  
15 argent, en or ou en aluminium à la lumière incidente.

Ils peuvent encore être constitués par un miroir diélectrique multicouche.

La couche de matériau n'absorbant pas la lumière peut être en  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  et la couche active en  
20 GaAs. De préférence,  $x$  est de l'ordre de 0,35 pour un fonctionnement à une longueur d'onde proche de 800 nm.

La couche de matériau n'absorbant pas la lumière peut aussi être en AlInAs et la couche active en InGaAs pour un fonctionnement à une longueur d'onde  
25 proche de 1500 nm.

Le réseau d'électrodes peut former deux peignes interdigités. En variante, le réseau d'électrodes peut être constitué desdites bandes conductrices qui sont juxtaposées et branchées en  
30 potentiel flottant.

Avantageusement, les bandes conductrices sont en argent ou en or.

Une couche de matériau diélectrique de passivation peut être déposée sur le réseau d'électrodes, par exemple une couche de dioxyde de silicium ou de nitrure de silicium.

Eventuellement, une deuxième face du support supporte une électrode d'application d'un champ électrique au dispositif pour changer, par effet électro-optique, la longueur d'onde de résonance de la cavité résonnante.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue partielle, en perspective et en coupe d'un dispositif de photodétection selon la présente invention,

- les figures 2 et 3 sont des vues de dessus d'un dispositif de photodétection selon la présente invention, dans une variante interdigitée,

- les figures 4A à 4F illustrent la réalisation d'un réseau d'électrodes et des contacts associés pour un dispositif de photodétection selon la présente invention,



- les figures 5A à 5C illustrent des étapes d'un procédé de réalisation d'un autre dispositif de photodétection selon la présente invention.

5    **EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

La structure proposée par la présente invention est constituée d'un réseau d'électrodes métalliques disposé sur une fine couche de matériau semiconducteur absorbant la lumière à détecter, cette  
10 fine couche étant elle-même déposée sur une couche transparente, elle-même déposée sur un miroir inférieur. L'invention exploite, d'une part, une transmission partielle des ondes incidentes (en polarisation TE et TM) à travers le réseau d'électrodes  
15 qui joue le rôle d'un miroir semi-réfléchissant (miroir supérieur) et, d'autre part, une résonance entre les miroirs supérieur et inférieur. Une très grande partie de la lumière incidente peut alors être absorbée très près des électrodes, dans la couche active qui peut  
20 faire 50 nm d'épaisseur.

La présence d'une couche de passivation déposée sur le réseau d'électrodes impose une légère modification des paramètres du réseau ainsi que de la distance entre les deux miroirs, sans remettre en cause  
25 l'existence des résonances mises à profit dans l'invention.

Une troisième électrode, placée sur la face arrière du dispositif, permet, en appliquant un champ électrique perpendiculaire à sa surface, de changer par  
30 effet électro-optique la longueur d'onde de la

résonance et donc de servir à accorder le photodétecteur à la longueur d'onde.

La figure 1 est une vue partielle, en perspective et en coupe d'un dispositif de photodétection selon la présente invention. Le dispositif de photodétection est réalisé à partir d'un substrat 1 en GaAs. La référence 2 désigne le miroir inférieur qui est ici un miroir de Bragg. Ce miroir de Bragg est constitué d'un empilement alterné de couches 21 et 22 en matériaux n'absorbant pas la lumière et d'indices de réfraction différents. Avec un substrat en GaAs, le miroir de Bragg peut être une alternance de couches d'AlAs et d'AlGaAs. Les épaisseurs de ces couches sont calculées en fonction de la gamme de longueurs d'onde à réfléchir. Les couches 21 et 22 peuvent être obtenues par épitaxie (par exemple par épitaxie par jet moléculaire) sur le substrat 1.

On dépose ensuite successivement sur le miroir inférieur 2 une couche 3 n'absorbant pas la lumière à détecter et une couche active 4. Ces couches peuvent aussi être déposées par épitaxie. La couche 3 peut être en  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  avec un coefficient  $x$  choisi de manière optimale égal à 0,35. La couche active 4 peut alors être en GaAs. Elle supporte un réseau d'électrodes 5 en or, en argent ou en aluminium. Les électrodes 5 sont constituées de bandes parallèles régulièrement espacées. Les dimensions géométriques des bandes sont choisies pour conduire à la formation, à l'interface entre le réseau d'électrodes 5 et la couche active 4, du miroir supérieur.

A titre d'exemple, pour une longueur d'onde de la lumière incidente d'environ 790 nm, la distance séparant les miroirs inférieur et supérieur peut être de 70 nm dont 40 nm de couche absorbante et 30 nm de  
5 couche transparente, la période du réseau d'électrodes peut être de 200 nm et les bandes conductrices peuvent avoir une largeur de 100 nm pour une épaisseur de 30 nm.

Cette structure diffère des structures MSM  
10 résonnantes proposées jusqu'à présent parce que le fait, selon l'invention, de rapprocher les électrodes ne présente plus l'inconvénient de masquer la lumière mais joue un rôle fondamental pour le contrôle de la réflectivité du miroir supérieur.

15 Si on s'intéresse à l'intensité de la composante électrique du champ électromagnétique dans la couche absorbante pour une lumière incidente reçue, on constate que l'absorption est très favorable à la collection des porteurs en polarisation TE puisqu'elle  
20 se fait principalement entre les électrodes, minimisant ainsi le temps de collection des photo-porteurs. En polarisation TM, le champ électromagnétique est localisé dans une région de faible champ électrique statique, ce qui est défavorable à une collection  
25 rapide des photo-porteurs.

La géométrie des électrodes peut être de type interdigité comme le montre la figure 2 qui est une vue de dessus d'un dispositif selon l'invention. Le réseau d'électrodes est disposé sur la couche active  
30 14. Il est constitué de bandes parallèles 15 connectées électriquement à un contact commun 35, pour former un

premier peigne, et de bandes parallèles 25 connectées électriquement à un autre contact commun 45, pour former un deuxième peigne. Les deux peignes sont interdigités. Dans cet exemple, la surface couverte par  
5 le réseau d'électrodes est de 5  $\mu\text{m}$  x 5  $\mu\text{m}$ .

La figure 3 est également une vue de dessus où le dispositif illustré par la figure 2 est désigné sous la référence 10. Il est réalisé sur un substrat référencé 11. On reconnaît les contacts 35 et 45. Les  
10 bandes métalliques (référéncées 15 et 25 sur la figure 2) n'ont pas été représentées.

La figure 3 montre des pistes conductrices 36 et 46 connectant respectivement les contacts 35 et 45 et déposées sur le substrat 11. Le substrat 11  
15 supporte aussi des métallisations 12 et 13 encadrant le dispositif de photodétection 10 et les pistes conductrices 36 et 46. L'ensemble des pistes métalliques 12, 13 et 46 d'une part et 12, 13 et 36 d'autre part forment des lignes coplanaires à impédance  
20 contrôlée pour une propagation du signal de photocourant produit.

Les électrodes peuvent aussi être constituées par une juxtaposition de bandes conductrices à potentiel flottant comme cela est décrit  
25 dans le document FR-A-2 803 950.

Les figures 4A à 4F illustrent la réalisation d'un réseau d'électrodes et des contacts associés pour un dispositif de photodétection selon la présente invention. Ces figures sont des vues en coupe  
30 transversale comme pour la figure 1.

La figure 4A montre un substrat 51 supportant successivement un miroir inférieur 52, une couche non absorbante 53 et une couche active 54. Si le substrat est en GaAs, le miroir inférieur peut être un miroir de Bragg constitué d'une alternance de couches d'AlAs et d'AlGaAs. (8 ou 16 paires de couches), la couche non absorbante est une couche d' $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  et la couche active est une couche de GaAs. Une couche 60 de polyméthacrylate de méthyle ou PMMA de 100 nm d'épaisseur a été déposée sur la couche active 54. Par lithographie électronique, des ouvertures sont pratiquées dans la couche 60 jusqu'à atteindre la couche active 54 en vue de réaliser le réseau d'électrodes. Ces ouvertures peuvent donc avoir 100 nm de largeur.

Une couche d'argent ou d'or est ensuite déposée sur la couche de PMMA gravée et selon une épaisseur de 30 nm. Cette couche d'argent ou d'or est représentée sous la référence 61 sur la figure 4B. Elle repose sur la couche 60 subsistante et sur les parties de la couche active 54 qui ont été révélées par la gravure.

On effectue ensuite une opération de "lift-off" par dissolution de PMMA dans du trichloroéthylène. Le résultat obtenu est présenté à la figure 4C. La couche active 54 supporte un réseau d'électrodes représenté sous la référence globale 62.

Une couche de résine 70 est ensuite déposée sur la couche active 54 supportant le réseau d'électrode 62. Une opération de lithographie optique permet de graver la couche de résine 70 jusqu'à révéler

la couche active 54 aux endroits prévus pour les emplacements des contacts associés aux électrodes. C'est ce que montre la figure 4D.

On passe ensuite à la figure 4E qui montre  
5 qu'une couche 71, du même métal que le réseau d'électrodes ou d'un autre métal, a été déposée sur la couche de résine 70 subsistante et sur les parties de la couche active 54 qui ont été révélées par la gravure. La couche 71 est plus épaisse que la couche 61  
10 (voir la figure 4B).

On procède ensuite à une nouvelle opération de "lift-off" pour obtenir la structure représentée à la figure 4F. la référence 72 désigne les contacts associés au réseau d'électrodes 62.

15 Les figures 5A à 5C illustrent des étapes d'un procédé de réalisation d'un autre dispositif de photodétection selon la présente invention. Dans cette variante, le miroir inférieur est constitué par une couche métallique. Ces figures sont des vues en coupe  
20 transversale comme pour la figure 1.

La figure 5A montre un substrat semiconducteur 80 supportant successivement une couche d'arrêt 85, une couche active 84, une couche non absorbante 83 et une couche métallique 82 destinée à  
25 constituer le miroir inférieur. Si le substrat 80 est en GaAs, la couche d'arrêt 85 peut être en GaInP, la couche active 84 peut être en GaAs et la couche non absorbante 83 peut être en  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ . La couche métallique 82 peut être un bicouche comprenant une  
30 première sous-couche en argent adjacente à la couche non absorbante 83. La couche métallique comprend

également une deuxième sous-couche destinée à une brasure ultérieure et constituée, par exemple, d'un alliage d'or et de germanium. Le miroir inférieur peut aussi être un miroir diélectrique multicouche.

5                   La figure 5B montre la structure précédente rendue solidaire d'un support 81. La solidarisation a été obtenue par une brasure réalisée entre la couche métallique 82 et une couche de brasure 86 déposée sur le support 81. Le support 81 peut être en tout matériau  
10 compatible avec le procédé mis en œuvre.

Le substrat 80 est ensuite éliminé par polissage mécanique, mécano-chimique et chimique jusqu'à atteindre la couche d'arrêt 85. La couche d'arrêt 85 est ensuite elle-même éliminée par gravure  
15 chimique sélective pour exposer la couche active 84. C'est ce que montre la figure 5C.

La suite du procédé, pour obtenir le réseau d'électrodes et ses contacts associés, a déjà été décrit en association avec les figures 4A à 4F.

20                   La nouvelle structure MSM proposée par la présente invention, comprenant une cavité résonante entre miroir de Bragg et un réseau métallique "sub-longueur d'onde" en or permet d'absorber plus de 50% de la lumière incidente (pour une longueur d'onde de  
25 0,8  $\mu\text{m}$ ) dans une couche active de 40 nm d'épaisseur et avec un espace inter-électrode inférieur à 100 nm. Le rendement est ainsi 25 fois supérieur à celui obtenu par un unique passage à travers la couche absorbante. Ce rendement peut être sensiblement amélioré par  
30 l'utilisation d'un réseau en argent, en améliorant la

réflectivité du miroir de Bragg et en augmentant l'épaisseur de la couche absorbante.

Le rendement quantique, externe obtenu sur un dispositif expérimental et en polarisation TE est de  
5 15 % dans une couche de 40 nm d'épaisseur. Aucune difficulté technologique ne semble s'opposer à l'obtention de rendements supérieurs à 50 %.

La présente invention peut également être utilisée pour tout type de photodétecteur utilisant une  
10 cavité résonnante. Le réseau d'électrodes métalliques sert à la fois de miroir à la cavité et de moyen de polarisation électrique du détecteur. Par exemple, le dispositif peut être un détecteur de type PIN composé d'un empilement de couches semiconductrices de type p  
15 et n formant la jonction PN et incorporant une zone intrinsèque (zone I), l'empilement étant placé dans la cavité résonnante composée, par exemple, d'un miroir de Bragg et d'un miroir à réseau d'électrodes métalliques, ce réseau servant également à la polarisation d'une des  
20 couches p ou n de la jonction. Le dispositif peut aussi être un détecteur de type Schottky composé d'une couche semiconductrice non absorbante placée entre un miroir de Bragg et un réseau d'électrodes métalliques servant à la fois de miroir à la cavité, d'électrodes de  
25 polarisation électrique et de zone absorbante.



## REVENDICATIONS

1. Dispositif de photodétection de type MSM destiné à détecter une lumière incidente et comprenant, en superposition sur une première face d'un support (1, 51, 81), des moyens réfléchissants (2, 52, 82) formant un premier miroir pour une cavité résonnante de type Fabry-Pérot, une couche d'un matériau n'absorbant pas ladite lumière (3, 53, 83), une couche active (4, 54, 84) en matériau semiconducteur absorbant la lumière incidente et un réseau d'électrodes de polarisation et de collecte du signal détecté, le réseau d'électrodes (5, 62) étant disposé sur la couche active, le réseau d'électrodes étant constitué de bandes conductrices parallèles régulièrement espacées selon une période inférieure à la longueur d'onde de la lumière incidente, le réseau d'électrodes (5, 62) constituant un deuxième miroir pour la cavité résonnante, les caractéristiques optiques de ce deuxième miroir étant déterminées par les dimensions géométriques desdites bandes conductrices, la distance séparant le premier miroir du deuxième miroir étant déterminée pour obtenir entre ces deux miroirs une résonance de type Fabry-Pérot pour la lumière incidente.

25

2. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens réfléchissants formant un premier miroir sont constitués par un miroir de Bragg (2, 52).

30

3. Dispositif de photodétection selon la revendication 2, caractérisé en ce que le miroir de Bragg (2, 52) est constitué de couches alternées d'AlAs et d'AlGaAs ou de couches alternées de GaInAsP et d'InP  
5 ou de couches alternées d'AlGaInAs et d'AlInAs ou de couches alternées d'AlGaAsSb et d'AlAsSb.

4. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens  
10 réfléchissants formant un premier miroir sont constitués par une couche métallique (82).

5. Dispositif de photodétection selon la revendication 4, caractérisé en ce que la couche  
15 métallique (82) constituant le premier miroir offre une surface en argent, en or ou en aluminium à la lumière incidente.

6. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens  
20 réfléchissants formant un premier miroir sont constitués par un miroir diélectrique multicouche.

7. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de  
25 matériau n'absorbant pas la lumière (3, 53, 83) est en  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  et la couche active (4, 54, 84) est en GaAs.

8. Dispositif de photodétection selon la revendication 7, caractérisé en ce que x est de l'ordre  
30 de 0,35.

9. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de matériau n'absorbant pas la lumière (3, 53, 83) est en AlInAs et la couche active (4, 54, 84) est en InGaAs.

10. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que le réseau d'électrodes (5, 62) forme deux peignes interdigités.

10

11. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que le réseau d'électrodes (5, 62) est constitué desdites bandes conductrices qui sont juxtaposées et branchées en potentiel flottant.

15

12. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce que les bandes conductrices sont en argent, en or ou en aluminium.

20

13. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une couche de matériau diélectrique de passivation est déposée sur le réseau d'électrodes.

25

14. Dispositif de photodétection selon la revendication 13, caractérisé en ce que la couche de passivation est en dioxyde de silicium ou en nitrure de silicium.

30

15. Dispositif de photodétection selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une deuxième face du support supporte une électrode d'application d'un champ électrique au dispositif pour changer, par effet  
5 électro-optique, la longueur d'onde de résonance de la cavité résonnante.

1/3

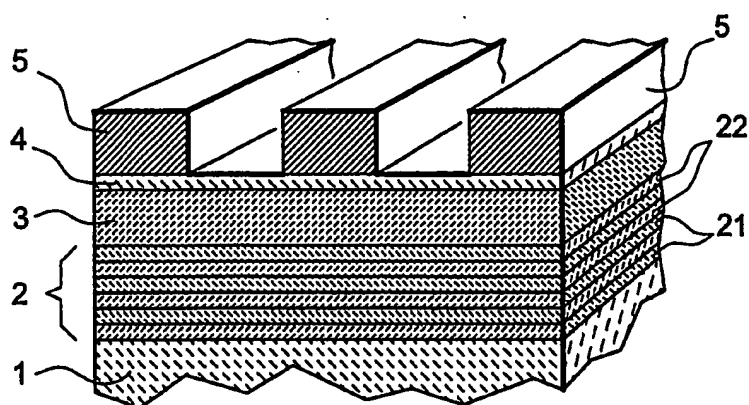


FIG. 1

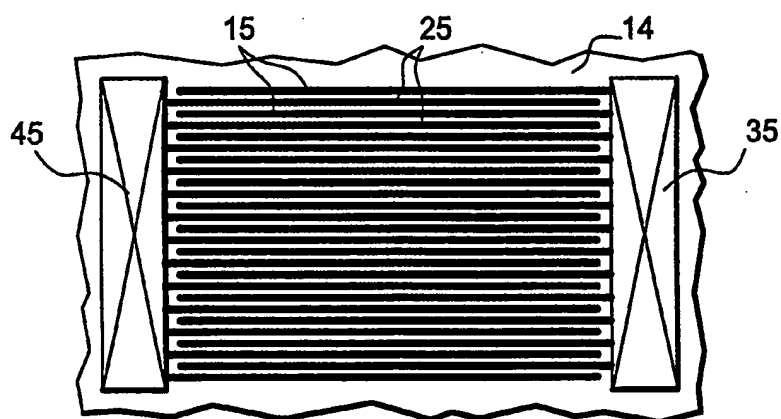


FIG. 2

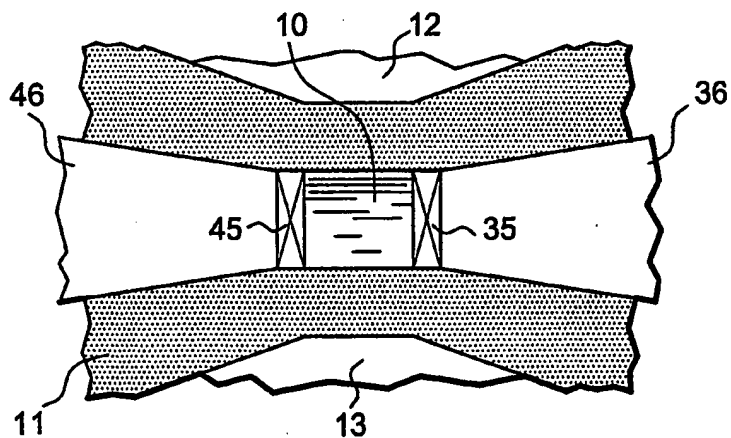


FIG. 3

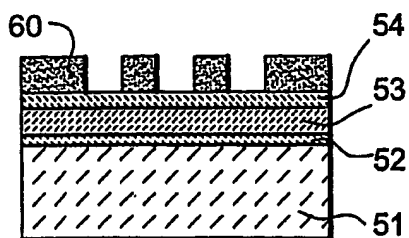


FIG. 4A

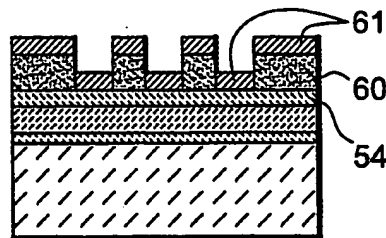


FIG. 4B

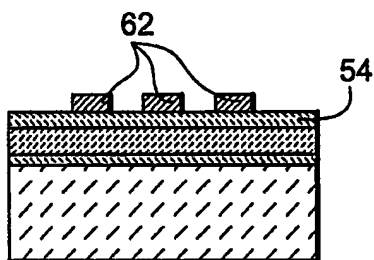


FIG. 4C

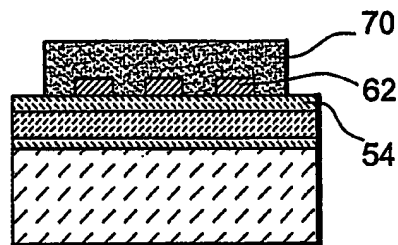


FIG. 4D

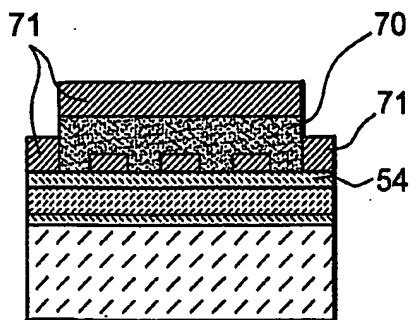


FIG. 4E

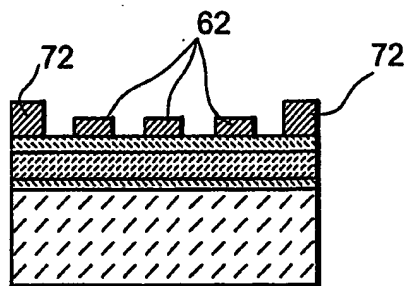


FIG. 4F

3 / 3

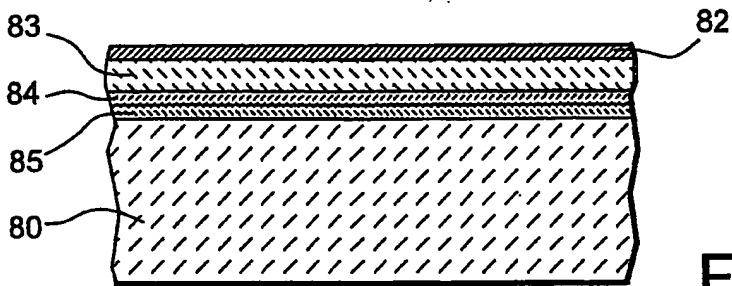


FIG. 5A

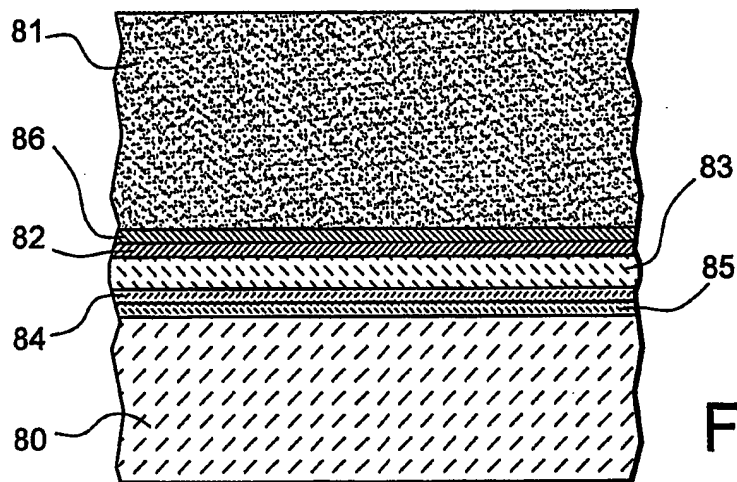


FIG. 5B

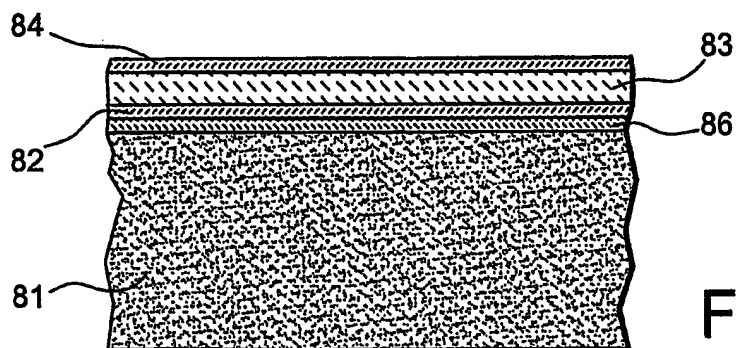


FIG. 5C

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

33

PCT

NOTIFICATION DE L'ENREGISTREMENT  
D'UN CHANGEMENT

(règle 92bis.1 et  
instruction administrative 422 du PCT)

Expéditeur: le BUREAU INTERNATIONAL

Destinataire:

LEHU, Jean  
c/o Brevatome  
3, rue du Docteur Lancereaux  
F-75008 Paris  
FRANCE

Date d'expédition (jour/mois/année)  
26 novembre 2003 (26.11.03)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire  
B 14187 JL

Demande internationale no  
PCT/FR03/02343

NOTIFICATION IMPORTANTE

Date du dépôt international (jour/mois/année)  
24 juillet 2003 (24.07.03)

1. Les renseignements suivants étaient enregistrés en ce qui concerne:

☒ le déposant ☒ l'inventeur ☐ le mandataire ☐ le représentant commun

Nom et adresse  
COLLIN, Stéphane  
22, rue Roger  
F-75014 Paris  
FRANCE

EPO - DG 1

02.12.2003

109

Nationalité (nom de l'Etat) Domicile (nom de l'Etat)  
FR FR

no de téléphone

no de télécopieur

no de téléimprimeur

2. Le Bureau international notifie au déposant que le changement indiqué ci-après a été enregistré en ce qui concerne:

☐ la personne ☐ le nom ☒ l'adresse ☐ la nationalité ☐ le domicile

Nom et adresse  
COLLIN, Stéphane  
51, boulevard Lefebvre  
F-75015 Paris  
FRANCE

Nationalité (nom de l'Etat) Domicile (nom de l'Etat)  
FR FR

no de téléphone

no de télécopieur

no de téléimprimeur

3. Observations complémentaires, le cas échéant:

4. Une copie de cette notification a été envoyée:

☒ à l'office récepteur ☐ aux offices désignés concernés  
☒ à l'administration chargée de la recherche internationale ☐ aux offices élus concernés  
☐ à l'administration chargée de l'examen préliminaire international ☐ autre destinataire:

Bureau international de l'OMPI  
34, chemin des Colombettes  
1211 Genève 20, Suisse

no de télécopieur: (41-22) 338.71.40

Fonctionnaire autorisé:

Jorge KREPELKA

no de téléphone: (41-22) 338 9198



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/02343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L31/108 H01L31/0232

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>STRITTMATTER A ET AL: "High-frequency, Long-wavelength Resonant-cavity Enhanced Ingaas Msm Photodetectors"</p> <p>22ND EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION ECOC' 96, vol. 1, 15 September 1996 (1996-09-15), pages 145-148, XP010303054</p> <p>Oslo</p> <p>page 145 -page 146; figure 1</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	<p>1-3, 10, 12-14</p>



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 January 2004

Date of mailing of the international search report

04/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visentin, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 03/02343

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>STRITTMATTER A ET AL: "High speed; high efficiency, resonant-cavity enhanced InGaAs MSM photodetectors" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 32, no. 13, 20 June 1996 (1996-06-20), pages 1231-1232, XP006005324 ISSN: 0013-5194 the whole document</p>	1-3,10, 12-14
A	<p>KISHINO K ET AL: "RESONANT CAVITY-ENHANCED (RCE) PHOTODETECTORS" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 27, no. 8, August 1991 (1991-08), pages 2025-2034, XP001090922 ISSN: 0018-9197 page 2025; figures 1,9 page 20230</p>	1-3
A	<p>FR 2 803 950 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 20 July 2001 (2001-07-20) cited in the application page 11, line 11 -page 13, line 30 page 15, line 1-18; claims 11,12; figures 2,3</p>	1-3,7, 11,12
A	<p>US 5 663 639 A (SMITH FRANK W ET AL) 2 September 1997 (1997-09-02) column 7, line 21-53; claims 1,2; figures 1,4,5 column 4, line 40 -column 5, line 5</p>	1,4-7, 10,13,14
A	<p>KOWALSKY W ET AL: "HIGH BANDWIDTH METAL-SEMICONDUCTOR-METAL PHOTODIODES WITH INTEGRATED FABRY-PEROT RESONATOR FOR WDM RECEIVERS" EXTENDED ABSTRACTS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JA, 1 August 1992 (1992-08-01), pages 214-216, XP000312201</p>	
A	<p>EP 0 651 448 A (HITACHI EUROP LTD) 3 May 1995 (1995-05-03)</p>	
A	<p>US 5 227 648 A (WOO JONG-CHUN) 13 July 1993 (1993-07-13)</p>	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/02343

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2803950	A	20-07-2001	FR 2803950 A1	20-07-2001
			AU 3188701 A	24-07-2001
			CA 2396951 A1	19-07-2001
			EP 1247301 A1	09-10-2002
			WO 0152329 A1	19-07-2001
			JP 2003520438 T	02-07-2003
			US 2003010979 A1	16-01-2003
US 5663639	A	02-09-1997	NONE	
EP 0651448	A	03-05-1995	DE 69426108 D1	16-11-2000
			DE 69426108 T2	23-05-2001
			EP 0651448 A1	03-05-1995
			JP 7153989 A	16-06-1995
			US 5512763 A	30-04-1996
US 5227648	A	13-07-1993	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR 03/02343

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H01L31/108 H01L31/0232

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>STRITTMATTER A ET AL: "High-frequency, Long-wavelength Resonant-cavity Enhanced Ingaas Msm Photodetectors"</p> <p>22ND EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION ECOC' 96,</p> <p>vol. 1, 15 septembre 1996 (1996-09-15), pages 145-148, XP010303054</p> <p>Oslo</p> <p>page 145 -page 146; figure 1</p> <p style="text-align: center;">--- -/-</p>	<p>1-3, 10, 12-14</p>

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 janvier 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04/02/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Visentin, A

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR 03/02343

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>STRITTMATTER A ET AL: "High speed, high efficiency resonant-cavity enhanced InGaAs MSM photodetectors"</p> <p>ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 32, no. 13, 20 juin 1996 (1996-06-20), pages 1231-1232, XP006005324 ISSN: 0013-5194 le document en entier</p>	1-3,10, 12-14
A	<p>KISHINO K ET AL: "RESONANT CAVITY-ENHANCED (RCE) PHOTODETECTORS"</p> <p>IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 27, no. 8, août 1991 (1991-08), pages 2025-2034, XP001090922 ISSN: 0018-9197 page 2025; figures 1,9 page 20230</p>	1-3
A	<p>FR 2 803 950 A (CENTRE NAT RECH SCIENT)</p> <p>20 juillet 2001 (2001-07-20) cité dans la demande page 11, ligne 11 -page 13, ligne 30 page 15, ligne 1-18; revendications 11,12; figures 2,3</p>	1-3,7, 11,12
A	<p>US 5 663 639 A (SMITH FRANK W ET AL)</p> <p>2 septembre 1997 (1997-09-02) colonne 7, ligne 21-53; revendications 1,2; figures 1,4,5 colonne 4, ligne 40 -colonne 5, ligne 5</p>	1,4-7, 10,13,14
A	<p>KOWALSKY W ET AL: "HIGH BANDWIDTH METAL-SEMICONDUCTOR-METAL PHOTODIODES WITH INTEGRATED FABRY-PEROT RESONATOR FOR WDM RECEIVERS"</p> <p>EXTENDED ABSTRACTS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JA, 1 août 1992 (1992-08-01), pages 214-216, XP000312201</p>	
A	<p>EP 0 651 448 A (HITACHI EUROP LTD)</p> <p>3 mai 1995 (1995-05-03)</p>	
A	<p>US 5 227 648 A (WOO JONG-CHUN)</p> <p>13 juillet 1993 (1993-07-13)</p>	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demanda Internacional No  
PCT/FR 03/02343

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2803950	A	20-07-2001	FR 2803950 A1 20-07-2001
		AU 3188701 A	24-07-2001
		CA 2396951 A1	19-07-2001
		EP 1247301 A1	09-10-2002
		WO 0152329 A1	19-07-2001
		JP 2003520438 T	02-07-2003
		US 2003010979 A1	16-01-2003
US 5663639	A	02-09-1997	AUCUN
EP 0651448	A	03-05-1995	DE 69426108 D1 16-11-2000
		DE 69426108 T2	23-05-2001
		EP 0651448 A1	03-05-1995
		JP 7153989 A	16-06-1995
		US 5512763 A	30-04-1996
US 5227648	A	13-07-1993	AUCUN